

Analisis Citra Landsat 8 Oli Multitemporal Untuk Kajian Distribusi Spasial *Aerosol Optical Depth* Menggunakan *Improved Aerosol Retrieval Algorithm*: Studi Kasus Kawasan Bandung Raya Tahun 2014 – 2018

Riza Nurvaridzi

riza.nurvaridzi@gmail.com

Retnadi Heru Jatmiko

riza.nurvaridzi@gmail.com

Abstrak Konsentrasi aerosol yang tinggi dapat menyebabkan ketidak seimbangan dinamika atmosfer. Pengukuran aerosol dalam skala lokal menggunakan penginderaan jauh perlu dilakukan karena sifat aerosol yang dinamis. Metode *Improved Aerosol Retrieval Algorithm* memanfaatkan citra Landsat 8 OLI dan data pengukuran langsung untuk membangun model distribusi spasial kedalaman optis aerosol (*Aerosol Optical Depth*). Lokasi dalam penelitian ini yaitu Kawasan Bandung Raya, dikarenakan memiliki daerah urban dan non urban sehingga dapat diketahui perbedaan pola distribusi spasial diantara keduanya. Terdapat 5 tanggal perkaman yang dihasilkan dalam periode waktu 2014 - 2018, dengan hasil analisis regresi pada panjang gelombang 440, 550, dan 660 nm berturut – turut yaitu 0,7054 ; 0,8995 ; 0,956. Rerata konsentrasi AOD mengalami perubahan signifikan dari tahun 2017 ke tahun 2018. Distribusi spasial AOD tinggi pada daerah urban, terutama pada kawasan industri yang berada di pinggiran Kota Bandung dan Kota Cimahi. Daerah non urban cenderung memiliki tingkat AOD yang rendah.

Kata kunci : Aeronet, aerosol, AOD, penginderaan jauh untuk atmosfer, skala lokal

Abstract High concentration of aerosol could cause atmosphere dynamic imbalance. Aerosol measurement on local scale using remote sensing is needed because aerosol characteristic is dynamic. Improved Aerosol Retrieval Algorithm method using Landsat 8 OLI satellite and direct measurement data to build Aerosol Optical Depth spatial distribution model. The subject of the research is Bandung Raya area because there are urban and non-urban area therefore the difference spatial distribution pattern can be found. There were 5 recorded date on period 2014-2018 with the results of regression analysis on wavelength 440, 550 and 660 nm consecutively 0,7054; 0,8995; 0,956. The average of AOD concentration became significantly changed from 2017 to 2018. AOD spatial distribution is high in urban area, especially in industrial area on the outskirts of Bandung and Cimahi. Meanwhile in non-urban area, the AOD level tend to be lower.

Keywords: Aeronet, aerosol, AOD, remote sensing for atmosphere, local scale

PENDAHULUAN

Aerosol merupakan partikel padat atau cair yang tersuspensi di atmosfer, dengan diameter antara 10^{-3} μm sampai 10^2 μm . Aerosol mempunyai peran penting dalam menentukan kondisi atmosfer karena tingkat konsentrasi aerosol dapat dijadikan sebagai salah satu indikasi polusi udara (Kaufman *et al.*, 1997, Zhang & Cao, 2015). Tingkat aerosol yang berlebih dapat menjadikan tidak seimbangnya dinamika pada atmosfer, sehingga memicu perubahan iklim (Thomas *et al.*, 2004).

Informasi distribusi aerosol dapat diperoleh secara langsung secara atau tidak langsung. Pengukuran aerosol secara langsung mengandalkan alat pengukur seperti *sun photometer* oleh Aeronet, sedangkan pengukuran secara tidak langsung dapat menggunakan pemodelan contohnya yaitu pemanfaatan data citra penginderaan jauh dengan prinsip mengukur tingkat hamburan dan serapan optis dari aerosol (Lenoble, 2013). Tingkat hamburan dan serapan optis oleh aerosol atau yang biasa disebut dengan *Aerosol Optical Depth* (AOD) dapat dijadikan sebagai indikator

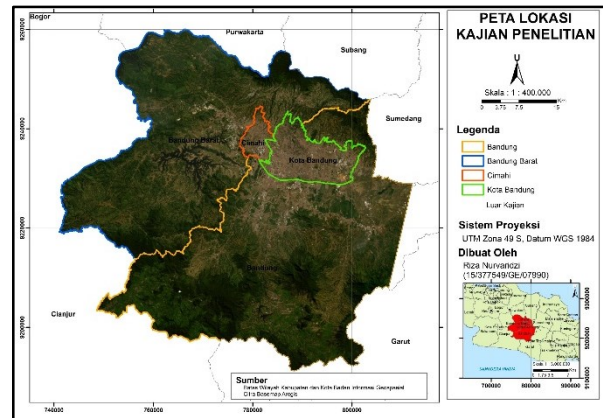
tingkat ketebalan aerosol pada suatu wilayah (Kahn *et al.*, 2009).

Pengukuran aerosol menggunakan penginderaan jauh umumnya menggunakan citra dengan resolusi spasial yang rendah, karena tujuan pengukuran yang dilakukan untuk skala global, sedangkan menurut Ramer *et al.*, (2009) aerosol seharusnya dikaji pada skala regional – lokal untuk mengetahui sumber dari aerosol tersebut serta sifat aerosol yang dinamis. Metode *Improved Aerosol Retrieval Algorithm (Im – Aero Landsat)* dapat digunakan dalam perolehan data distribusi spasial aerosol menggunakan citra Landsat 8 OLI untuk memecahkan masalah tersebut. Metode Im – Aero Landsat dapat menghasilkan pemodelan aerosol dengan resolusi spasial 30 meter sehingga dapat memodelkan distribusi aerosol untuk skala lokal, selain itu data multitemporal juga dapat dihasilkan untuk menganalisis fluktuasi konsentrasi aerosol dari waktu – ke waktu.

METODE PENELITIAN

Lokasi Wilayah Kajian

Kawasan Bandung Raya meliputi 4 wilayah administrasi yaitu Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung Barat, dan Kabupaten Bandung dengan koordinat 6°,373' dan 7°,19' lintang selatan dan 107°,131' dan 108°,5' bujur timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Kajian Penelitian

Lokasi tersebut dipilih karena Kawasan Bandung Raya merupakan kawasan yang memiliki daerah urban dan non urban sehingga dapat diketahui perbedaan pola distribusi spasial diantara keduanya. Kawasan Bandung Raya juga memiliki stasiun pengukuran aerosol secara langsung berupa *sun photo meter* oleh Aeronet yang digunakan sebagai pembangun model dan uji akurasi dari penelitian ini.

Alat dan Bahan

1. Perangkat lunak Envi 5.3
2. Perangkat lunak Microsoft Excel
3. Perangkat lunak ArcGis 10.3
4. Citra Landsat 8 OLI
5. Data DSA Aeronet
6. Data Inversion Aeronet
7. Data Meteorologis

Im – Aero Landsat

Saluran 2 (biru) dan saluran 4 (merah) pada citra Landsat 8 OLI digunakan sebagai bahan untuk memodelkan distribusi aerosol pada panjang 440 nm dan 660 nm. Penelitian

ini menggunakan metode Im – Aero Landsat yang menggunakan prinsip *Dark Dense Vegetation* (DDV) karena metode ini memang ditujukan untuk perolehan informasi aerosol pada daerah perkotaan yang memiliki tingkat heterogenitas yang tinggi pada tutupan lahan (Remer *et al.*, 2005). Prinsip DDV akan memperhatikan piksel gelap yang diperoleh dari pantulan permukaan obyek vegetasi dan air. Piksel gelap akan dilakukan pembersihan terlebih dahulu menggunakan dengan metode *Second Generation Algorithm*, karena pada piksel gelap informasi mengenai aerosol tidak dapat teridentifikasi. Gelombang akan diserap sempurna oleh obyek di permukaan dan tidak dapat dipantulkan kembali untuk mengetahui hamburan balik dari aerosol. Perolehan informasi aerosol memanfaatkan pantulan ToA dengan persamaan :

$$\rho_{TOA(\lambda)} = \frac{\pi L_{TOA(\lambda)} d^2}{ESUN_{\lambda} \mu_s} \dots\dots\dots (i)$$

Pikel gelap menurut Luo *et al.* (2015) merupakan piksel dari pantulan ToA pada panjang gelombang 660 nm dengan rentang nilai pixel antara 0,005 sampai 0,075. Piksel gelap tersebut akan dilakukan pengolahan dengan *second generation operational algorithm* menggunakan nilai pantulan ToA citra yang dianggap bersih pada band 7 landsat 8 OLI. *Second generation operational algorithm* dapat dihitung dengan persamaan :

$$\rho_{s(0,66)} = f(\rho_{s(2,1)}) \dots\dots\dots (ii)$$

$$\rho_{s(0,48)} = g(\rho_{s(0,66)}) \dots\dots\dots (iii)$$

Dimana $\rho_{s(0,66)}$ = pantulan permukaan dari saluran merah ; $\rho_{s(0,48)}$ = pantulan permukaan dari saluran biru ; $\rho_{s(2,1)}$ = pantulan *ToA* dari saluran ke 7 citra Landsat 8 OLI. Fungsi *f* dan *g* didefinisikan sebagai berikut :

$$\rho_{s(0,66)} = f(\rho_{s(2,1)}) = \rho_{s(2,1)} \cdot slope_{0,66/2,1} + y_{int\ 0,66/2,1} \dots\dots\dots (iv)$$

$$\rho_{s(0,48)} = g(\rho_{s(0,66)}) = \rho_{s(0,66)} \cdot slope_{0,48/0,66} + y_{int\ 0,48/0,66} \dots\dots\dots (v)$$

Nilai dari $slope_{0,66/2,1}$, $y_{int\ 0,66/2,1}$, $slope_{0,48/0,66}$, dan $y_{int\ 0,48/0,66}$ dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$slope_{0,66/2,1} = slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}} + 0,002 \cdot \theta - 0,27 \dots\dots\dots (vi)$$

$$y_{int\ 0,66/2,1} = 0,00025 \cdot \theta + 0,033 \dots\dots\dots (vii)$$

$$slope_{0,48/0,66} = 0,49 \dots\dots\dots (viii)$$

$$y_{int\ 0,48/0,66} = 0,005 \dots\dots\dots (ix)$$

Dimana θ merupakan sudut hamburan, dan $slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}}$ dapat didefinisikan sebagai:

$$\text{Jika } NDVI_{SWIR} < 0,25 \text{ maka } slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}} = 0,48 \dots\dots\dots (x)$$

$$\text{Jika } NDVI_{SWIR} > 0,75 \text{ maka } slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}} = 0,58 \dots\dots\dots (xi)$$

$$\text{Jika } 0,25 \leq NDVI_{SWIR} \leq 0,75 \text{ maka } slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}} = 0,48 + 0,2 \cdot (NDVI_{SWIR} - 0,25) \dots\dots (xii)$$

Nilai $NDVI_{SWIR}$ dari citra Landsat, dengan persamaan :

$$NDVI_{SWIR} = \frac{(\rho_{TOA(1,6)} - \rho_{TOA(2,1)})}{(\rho_{TOA(1,6)} + \rho_{TOA(2,1)})} \dots\dots\dots(xiii)$$

Nilai $NDVI_{SWIR}$ tersebut digunakan untuk menentukan nilai dari $slope_{0,66/2,1}^{NDVI_{SWIR}}$, sehingga dapat diketahui nilai pantulan dari nilai piksel gelap yang terdapat pada citra Landsat. Setelah nilai piksel gelap diketahui dan nilai pantulan permukaan dianggap sudah bersih maka untuk proses selanjutnya yaitu mencari nilai dari pantulan ToA yang dihitung dengan persamaan oleh Kaufman et al (1997) sebagai berikut:

$$\rho_{TOA(\lambda)}(\theta_o, \theta, \phi) = \rho_{Aer}(\theta_o, \theta, \phi) + \rho_{Ray}(\theta_o, \theta, \phi) + \frac{T_{(\theta_o)}T_{(\theta)}\rho_s(\theta_o, \theta, \phi)}{1 - \rho_s(\theta_o, \theta, \phi)S_\lambda} \dots\dots\dots(xiv)$$

Dimana : θ_o = sudut *solar zenith* ; θ = sudut *sensor zenith* ; ϕ = sudut azimuth relatif ; $\rho_{Aer}(\theta_o, \theta, \phi)$ = nilai pantulan aerosol yang dihasilkan dari beberapa hamburan tanpa adanya molekul ; $\rho_{Ray}(\theta_o, \theta, \phi)$ = nilai pantulan *rayleigh* yang dihasilkan dari beberapa hamburan tanpa adanya efek aerosol ; $T_{(\theta_s)}$ = transmisi atmosfer pada jalur matahari sampai permukaan bumi ; $T_{(\theta_v)}$ = transmisi atmosfer pada jalur permukaan bumi – sensor ; $\rho_s(\theta_o, \theta, \phi)$ = pantulan permukaan ; S_λ = hamburan balik atmosfer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 5 tanggal perekaman AOD yang tidak tertutup awan pada titik stasiun

pengamatan Aeronet sehingga menghasilkan 10 model distribusi AOD, yaitu 5 model pada panjang gelombang 660 nm dan 5 pada panjang gelombang 440 nm. Hasil pemodelan dari kedua panjang gelombang tersebut untuk selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan *Angstrom Exponent* untuk mencari nilai AOD pada panjang gelombang 550 nm. Panjang gelombang 550 nm dijadikan sebagai model distribusi aerosol dikarenakan pada panjang gelombang tersebut serapan ozon paling tinggi dibandingkan dengan kedua panjang gelombang model. Serapan ozon yang tinggi menjadikan pemodelan AOD pada panjang gelombang 550 nm lebih efektif dalam mengidentifikasi AOD karena tidak terpengaruh efek pantulan ozon.

Hasil statistik dari ketiga pemodelan tersebut menunjukkan bahwa pada ketiga panjang gelombang dihasilkan nilai AOD tertinggi pada panjang gelombang 440 nm dan dilanjutkan pada gelombang 550 nm serta yang terakhir yaitu panjang gelombang 660 nm dilihat dari nilai rata – rata dan standar deviasinya. Masih terdapat nilai *pixel error* dari hasil pengolahan tersebut, terutama pada nilai piksel minimal yang masih terdapat nilai negatif didalamnya. Piksel error tersebut akan diabaikan karena tidak mempengaruhi hasil pemodelan AOD

untuk keseluruhan, serta memiliki kuantitas yang kecil.

Tabel 1. Hasil Statistik Pemodelan AOD

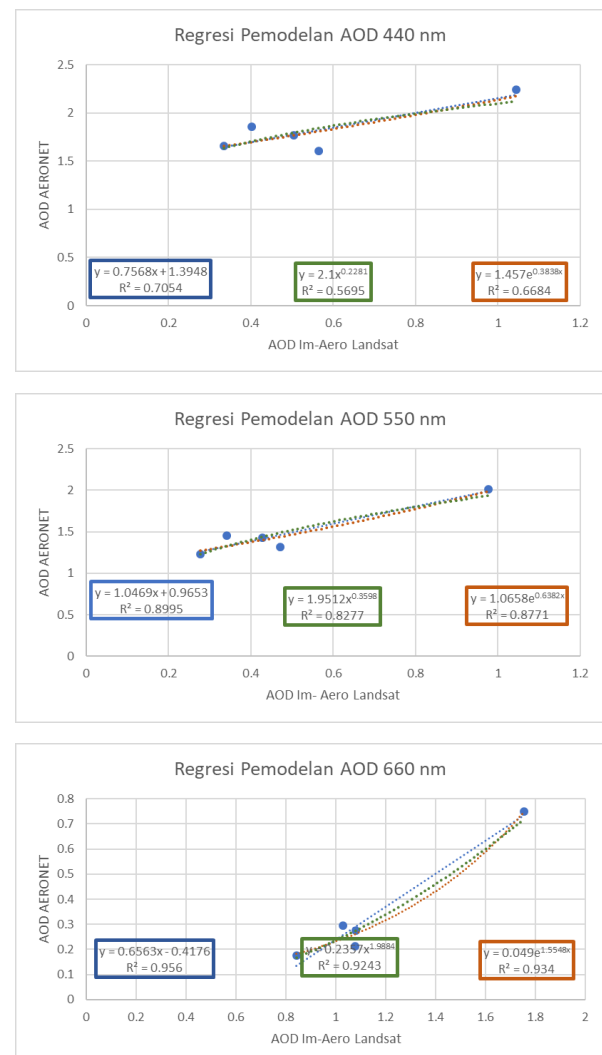
No	Tanggal Perekaman	λ (nm)	Min	Max	Rata - Rata	Stand Devia
1	9 Juni 2014	440	-0.083215	2.999981	0.782223	0.457
		550	-0.150124	2.999681	0.686974	0.40
		660	-0.419474	3.102587	0.422259	0.403
2	11 Juli 2014	440	0.588708	2.999993	1.565588	0.456
		550	0.002003	2.80139	1.097944	0.536
		660	-0.787374	2.774988	0.51224	0.558
3	13 September 2014	440	-0.023972	2.999995	1.149486	0.446
		550	-0.080464	2.625305	0.840739	0.342
		660	-4.724143	2.302873	0.419683	0.362
4	16 Mei 2017	440	-0.000961	2.999966	1.039114	0.43
		550	-0.012037	2.938555	0.798094	0.392
		660	-0.895346	3.367567	0.512938	0.388
5	4 Juni 2018	440	-0.062729	2.999999	1.361141	0.747
		550	-0.070902	3.339075	1.211291	0.666
		660	-0.087611	4.161297	1.051543	0.586

Nilai AOD yang dihasilkan pada ketiga panjang gelombang menunjukkan bahwa semakin tinggi panjang gelombang maka akan diikuti menurunnya nilai AOD yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan pada panjang gelombang yang rendah aerosol akan lebih sulit ditembus oleh gelombang sehingga hamburan dan pantulan aerosol ke sensor akan lebih tinggi.

Uji regresi dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai korelasi atau R^2 antara nilai pemodelan AOD dengan nilai AOD hasil pengukuran di lapangan oleh Aeronet. Uji statistik regresi dilakukan pada ketiga panjang gelombang hasil pemodelan.

Hasil korelasi berbeda pada setiap panjang gelombang, korelasi yang rendah pada panjang gelombang 440 nm disebabkan pada panjang gelombang tersebut serapan partikel ozon sangat kecil, sehingga dengan serapan yang kecil tersebut pengaruh partikel ozon terhadap pemodelan AOD

masih tinggi. Apabila dilihat dari grafik serapan ozon, seharusnya untuk panjang gelombang 550 nm lebih akurat dibandingkan dengan panjang gelombang 660 nm, dikarenakan serapan ozon pada 550 nm lebih tinggi dibandingkan pada panjang gelombang 660 nm, akan tetapi dari hasil penelitian menunjukkan hal yang berkebalikan.



Gambar 2. Regresi Pemodelan AOD

Korelasi yang berkebalikan tersebut dikarenakan kemampuan gelombang 660

nm untuk menembus partikel lebih tinggi dibanding 550 nm, sehingga gelombang 660 nm dapat menjangkau permukaan. Pengukuran aerosol di lapangan menggunakan Aeronet merupakan pengukuran aerosol permukaan sehingga membutuhkan panjang gelombang yang dapat menembus sampai permukaan, selain itu serapan ozon pada kedua panjang gelombang tersebut tidak terlalu terpaut jauh apabila dibandingkan dengan panjang gelombang 440 nm.

Uji validasi dilakukan dengan menggunakan metode uji *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) pada ketiga panjang gelombang pemodelan AOD. Uji validasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kesalahan pada model apabila dibandingkan dengan nilai sesungguhnya atau nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran lapangan.

Hasil uji validasi pada pemodelan AOD 660 nm merupakan hasil dengan nilai terendah jika dibandingkan dengan kedua panjang gelombang lainnya. Nilai RMSE yang dihasilkan yaitu 0,8231, dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa distribusi frekuensi dari nilai kesalahan masih tergolong tinggi. MAE yang dihasilkan dari perhitungan tersebut yaitu sebesar 0.81502444. Nilai MAE tersebut tidak terpaut jauh dengan nilai RMSE, sehingga hal tersebut juga dapat didefinisikan bahwa

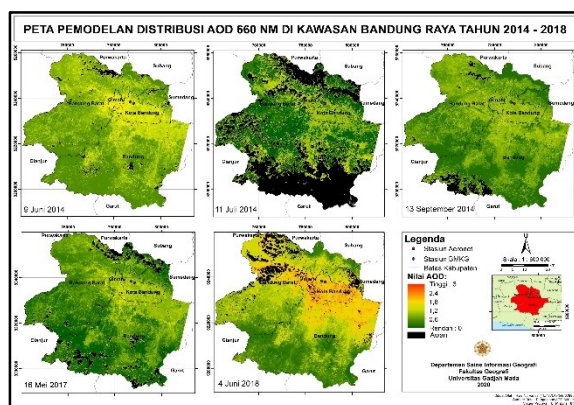
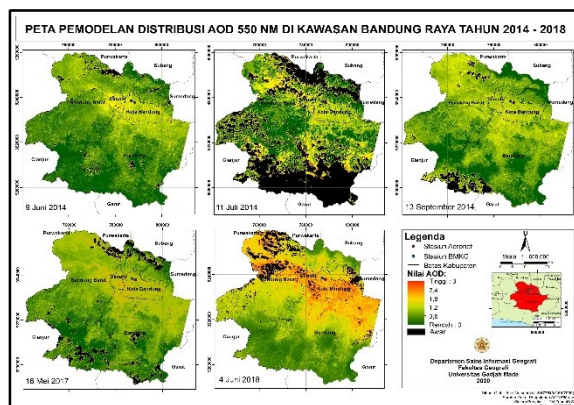
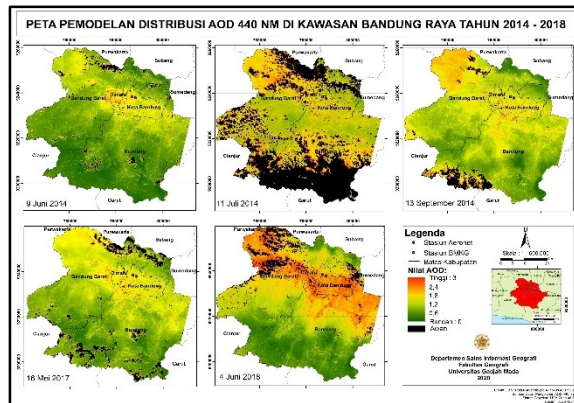
model yang ada kesalahan absolutnya masih tergolong tinggi yaitu kurang lebih pada rentang nilai tersebut.

Tabel 2. Tabel hasil uji validasi model

Uji Validasi Pemodelan Aod 440 Nm			
AOD AERONET	AOD Pemodelan	Square Error	Absolute Error
0.565225	1.605961781	1.083133046	1.040736781
0.402524	1.855375494	2.110777464	1.452851494
0.334152	1.65940961	1.756307732	1.32525761
0.50435	1.767963529	1.59671915	1.263613529
1.043853	2.242352766	1.436401688	1.198499766
RMSE		1.263593216	
MAE			1.256191836
Uji Validasi Pemodelan Aod 660 Nm			
AOD AERONET	AOD Pemodelan	Square Error	Absolute Error
0.293623	1.028049705	0.539382585	0.734426705
0.213047	1.078598626	0.749179617	0.865551626
0.175772	0.84167377	0.443425167	0.66590177
0.273704	1.080127177	0.650318341	0.806423177
0.749833	1.752651925	1.005645796	1.002818925
RMSE		0.823158734	
MAE			0.81502444
Uji Validasi Pemodelan Aod 550 Nm			
AOD AERONET	AOD Pemodelan	Square Error	Absolute Error
0.4718635	1.319915204	0.719191693	0.848051704
0.341785	1.452979216	1.234752585	1.111194216
0.278055	1.231593649	0.909235956	0.953538649
0.42872	1.423781157	0.990146705	0.995061157
0.976426	2.012310132	1.073055934	1.035884132
RMSE		0.992610989	
MAE			0.988745971

Ketiga panjang gelombang hasil pemodelan memiliki nilai *error* yang tinggi jika dibandingkan nilai AOD hasil perekaman lapangan oleh Aeronet. Nilai *error* yang tinggi tersebut dikarenakan nilai AOD hasil pemodelan memiliki rentang nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hasil perekaman Aeronet di lapangan. Hasil pemodelan AOD yang dihasilkan pada penelitian oleh Luo *et al.*, (2015) dengan menggunakan metode yang sama juga dihasilkan rata – rata nilai AOD hasil pemodelan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan AOD hasil perekaman AERONET. Dari ketiga hasil uji validasi tersebut dapat disimpulkan bahwa Model AOD pada panjang gelombang 660 nm

memiliki tingkat kesalahan yang paling kecil jika dibandingkan dengan 2 panjang gelombang lainnya.

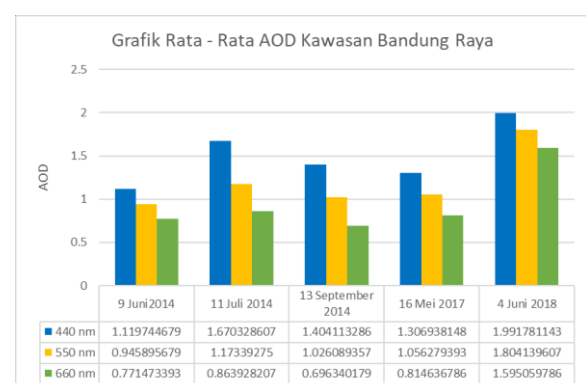


Gambar 3. Peta distribusi spasial AOD

Distribusi persebaran aerosol apabila dilihat dari hasil pemodelan dari tahun 2014 – 2018 kawasan Bandung Raya mengalami fluktuasi pada beberapa tanggal perekaman data (Gambar 3). Hasil perolehan data AOD

tertinggi yaitu pada tanggal 4 Juni 2018, sedangkan yang terendah yaitu pada tanggal 9 Juni 2014, pada rentang diantara waktu tersebut grafik AOD mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik rata – rata nilai AOD Kawasan Bandung Raya (gambar 5) dapat dilihat bahwa tingkat aerosol di tahun 2014 – 2017 memiliki nilai yang relatif stabil, akan tetapi pada tahun 2018 terdapat kenaikan tingkat aerosol yang cukup signifikan dari tahun sebelumnya.

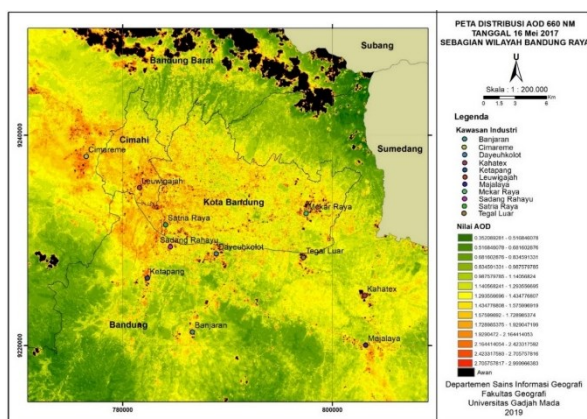
Kenaikan tingkat aerosol juga dapat dilihat pada perekaman tanggal 11 Juli 2014. Apabila diperhatikan pada gambar 5 nilai aerosol terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada panjang gelombang 440 nm, sedangkan untuk perekaman selanjutnya yaitu tanggal 13 September 2014 tingkat aerosol mengalami penurunan.



Gambar 4. Grafik rata – rata nilai AOD di Bandung Raya

Kenaikan tingkat aerosol yang signifikan tersebut terjadi karena pada saat perekaman citra di tanggal 11 Juli 2014 kawasan Bandung Raya hampir sebagian besar tertutup oleh awan tebal, serta

Tingkat AOD rata - rata tertinggi terjadi pada daerah urban, seperti pada Kota Cimahi dan Kota Bandung sedangkan untuk daerah non urban seperti Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat cenderung lebih rendah. Terdapat pola distribusi spasial untuk tingkat aerosol tertinggi di daerah urban, yaitu terjadi pada daerah perbatasan antar kota, sedangkan untuk wilayah permukiman di tengah kota, tingkat aerosolnya tidak setinggi pada kawasan perbatasan. Kawasan perbatasan tersebut merupakan kawasan industri, contohnya yaitu pada Kawasan Industri Leuwigajah yang berada pada perbatasan antara Kota Bandung dengan Kota Cimahi serta Kawasan Industri Dayeuhkolot yang berada di perbatasan antara Kota Bandung dengan Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 5. Peta persebaran kawasan industri

Tingginya tingkat aerosol tersebut dipengaruhi oleh aerosol debu dan asap akibat aktifitas perindustrian, sedangkan aerosol pada daerah perkotaan lebih dipengaruhi oleh aerosol akibat kegiatan transportasi. Tingkat aerosol yang lebih tinggi juga terlihat mencolok dibandingkan dengan wilayah disekitarnya pada jalur transportasi yang menghubungkan antar kota, contohnya yaitu pada jalur yang menghubungkan antara Kota Bandung dengan Kota Garut yang berada diselatan Bandung Raya.

KESIMPULAN

Metode Im – Aero Landsat dapat digunakan sebagai pemodelan distribusi AOD pada skala lokal dengan resolusi spasial 30 m. Nilai R^2 yang dihasilkan menggunakan metode tersebut pada panjang gelombang 440, 550, dan 660 nm berturut – turut yaitu 0,7054 ; 0,8995 ; 0,956.

Tingkat konsentrasi AOD di Kawasan Bandung Raya pada rentang waktu 2014 – 2018 terdapat fluktuasi yang tidak terlalu signifikan. Tingkat AOD cenderung mengalami kenaikan pada waktu perekaman 11 Juli 2014 dan 4 Juni 2018. Distribusi AOD di Kawasan Bandung Raya cenderung tinggi pada daerah urban dengan titik – titik tertinggi pada kawasan perindustrian.

DAFTAR PUSTAKA

- Clarke, A. D., Collins, W. G., Rasch, P. J., Kapustin, V. N., Moore, K., Howell, S. 2001. Dust And Pollution Transport On Global Scales : Aerosol Measurements And Model Prediction. *Jurnal Of Geophysical Research*, 106, 3255-32569
- Hou, P., Jiang, W.G., Cao, GZ., Li, J., 2012. Aerosol Retrieval With Satellite Image and Correlation Analyses Between Aerosol Distribution and Urban Under Laying Surface. *International Journal Remote Sensing* 33 (10), 3232 - 3251
- Holben, B. N., Tanre, D., Smirnov, A., Eck, T. F., Slutsker, I., Abuhassan, N. 2001. An Emerging Ground Based Aerosol Climatology : Aerosol Optical Depth From AERONET. *Journal Of Geophysical Research*, 106, 12067 - 12097
- Kahn, R.A. et al., 20009. *Introduction. Dalam : Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impact. Washington, D. C., USA : National Aeronautics and Space admonostration*, pp. 9-20
- Kaufman, Y.J., Wald, A.E., Remer, L.A., Gao, B.-C., Li, R.-R., & Flynn, L. (1997). *The MODIS 2.1- μ m channel- correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol*. IEEE
- Kokhanovsky, A. A. & Leeuw, G. d., 2009. *Satellite Aerosol Remote Sensing Over Land, dalam Landolt-Bornstein*, 4b, 391-456. Berlin : Springer
- Remer, L. A., Kaufman, Y.J., Tanre, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., Li, R.R., Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G., Eck, T.F., Vermote, E., Holben, B.N., 2005. The Modis Aerosol Algorithm, Products and Validation. *Journal Atmosphere. Sci.* 62 (4), 791 – 801
- Remer, L. A., et al., 2009. Executive Summary. Dalam : *Atmospheric Aerosol Properties and the Hydrological Cycle. Science*, Volume 294, pp. 2119-2124
- Zhang, Y.L., Cao, F., 2015. Fine particulate matter (PM_{2.5}) in China at a city level. *Sci. Rep.* 5 14884
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y. C., et al. (2004). *Extinction risk from climate change*. *Nature*, 427(6970), 145–148.
- Lenoble, J., Remer, L.A. & Tame, D., 2013. *Aerosol Remote Sensing. Chichester, UK : Praxis Publishing Ltd*
- Luo, Nana, Man S. W., Wenji Z., Xing Y., Fei X., 2015. Improved Aerosol Retrieval Algorithm Using Landsat Images and its Application for PM₁₀ Monitoring Over Urban Areas. *Atmospheric Research* 153 264-27